

研究報告

ダンス動作における“美しさ”の定量化

－相互相関分析を用いた位相差の検出－

若月 翼¹⁾・山田 憲政²⁾Quantification of “Beauty” in Dance Motion:
Detection of Phase Difference Using Cross Correlation Analysis

Tsubasa WAKATSUKI, Norimasa YAMADA

1. はじめに

スポーツ種目のほとんどは、パフォーマンスが特定の客観的指標に変換され、それをもって勝敗が決まる。その代表例が、陸上競技のトラック種目や水泳競技の競泳種目における運動時間によるものである。これらの種目には評価（観察）者の主観が入り込む余地は一切無く、より速く目標に到達した者が勝者となる。つまり、動きの“美しさ”やそれに伴う表現力は勝敗に一切関係しない。しかしその一方で、剣道の一種である居合道や空手道の型、ダンスやバレエを含む舞踊など、動きの美しさや表現のうまさの評価の優劣に直結する種目もある。

近年、これらの表現種目の動作分析を用いて評価者の主観的な感覚に迫る研究がしばしば行われている。名取と山田（2012）は、演武者と同程度の身長（仮想敵）が目の前にいると想定してその敵をあたかも実際に斬っているように見せる居合道を題材に、熟練者と未熟練者の素振りを分析した。その結果、両者の違いは仮想敵に刀が接触する瞬間の刀の速度及び加速度のタイミングにあり、未熟練者はこの瞬間に最大速度を迎えるように操作していたのに対して、熟練者は負の最大加速度を迎えるように操

作していた。つまり、熟練者はこの技術により実際は存在しない敵に刀がぶつかる瞬間を表現しており、同時に評価者もそのポイントを一つの指標として仮想敵を斬殺したかどうかを判定していると考えられる。このように、表現種目の動作分析は熟練者の表現技法や評価者の主観的な感覚に迫ることができるだけでなく、人間が「美しい」「うまい」などと抽象的に表現する動作を定量的に示すことも可能にする。

そこで本研究では、美しい動きの本質にアプローチするため、表現種目の代表ともいえるダンスを題材に二つの実験を行う。一つは、見る者がダンスの熟練者と未熟練者の動きのどちらを「美しい」と感じるかを検討する観察実験、そしてもう一つは、両者が美しさを表現しようと試みた動きを客観的に比較するための表現実験である。

2. 本研究を構成する二つの実験

2.1 実験①：観察実験

実験①は、実験対象者（以下、観察者）がダンス熟練者と未熟練者の動作をそれぞれ観察し、どちらの動作をより「美しい」と感じるかを主観的に検討することを目的とした。

¹⁾ 中京大学大学院体育学研究科²⁾ 中京大学スポーツ科学部

2.1.1 対象動作

実験で対象としたのは、ダンスの基本動作とされるウェーブ動作であった。本実験で採用したウェーブ動作は、片腕（上腕から手指まで）を肩関節の高さまで外転させた状態を基本姿勢として、その片腕を膝関節の屈伸運動に合わせて波のようにしなせる動きを5回連続で行う、というものであった。1ウェーブ分のイメージを図1に示す。

本動作はダンスに関する先行研究（佐藤ら、2011）で扱われたウェーブ動作よりも難易度を下げており、未熟練者でもよりイメージがし易い。また、これにより熟練者のみが知る特殊なテクニックによる顕著な違いを回避することができるため、美しい動きの本質に迫ることを目的とした本研究に適しているといえる。

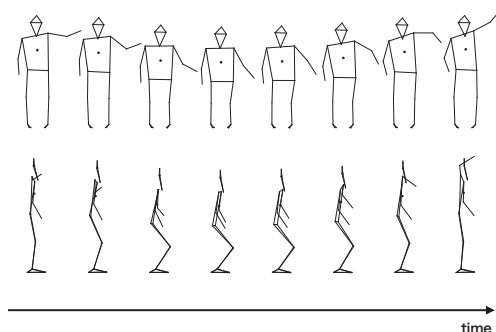


図1：ウェーブ動作のイメージ

2.1.2 提示アニメーション

観察者に提示する映像には、運動実施者の体型や性別といった動作以外の情報を排除するため、ポイントライトアニメーションを用いた。実際に使用したアニメーションの一コマを図2に示す。

予め取得しておいた熟練者（3種類の舞踊種目を計10年以上経験）と未熟練者1名ずつの映像から動作に関与する7点（胸骨上縁、骨盤、肩関節、肘関節、手関節、手甲、手指）を抽出し、それらの点をデジタイズソフト（DKH社製、Frame-DIAS、200Hz）により座標化して2次元アニメーションを作成した。尚、運動実施者に

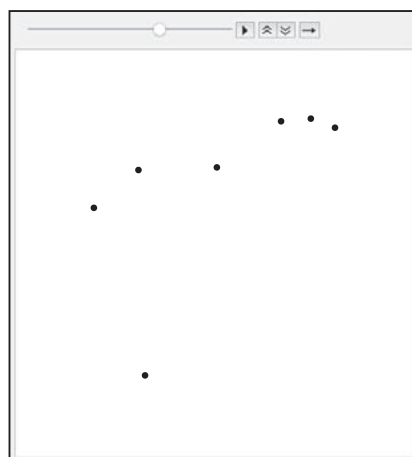


図2：提示アニメーションの一コマ

は「1回の膝屈伸運動につき1回のウェーブ」といったリズムに関する教示以外に行わず、あくまで美しさの表現を重視するよう伝えた。

2.1.3 実験方法

作成した2つのポイントライトアニメーションを5名の観察者（授業履修程度のダンス未熟練者）に提示し、どちらの方が「美しい」と感じるかを回答させた。尚、映像提示前には「対象動作がどのようなものか」また「各点はどの身体部位を表しているか」を予め説明した。

2.2 実験②：表現実験

実験②は、ダンス熟練者と未熟練者が“美しさ”を表現しようと試みたウェーブ動作の違いを、力学的指標を用いて客観的に検討することを目的とした。

ウェーブ動作は、その名の通り“波(=Wave)”を身体で表現する運動である。実際に海で起こる波を例に考えてみても分かるように、波は海面近くで生成された力が末端部に向かって伝達される。つまり、海面と末端部で加速度の位相差が発生しており、これが波の最も大きな特徴であるといえる。そこで本実験では、体幹(=海面)と手関節(=末端部)の加速度の位相差に着目して、両者による動作の違いを検討する。

2.2.1 実験方法

対象動作は実験①で採用したウェーブ動作（2.1.1参照）と同様であった。

実験対象者（熟練者3名、未熟練者4名）の腰部および手関節に1台ずつ、計2台の加速度センサー（ATR-Promotions、TSND151、1000Hz）を配置し、2部位の3軸加速度データをそれぞれ取得した。実施試技数は、5回連続のウェーブ動作を1試技として1名当たり2試技であった。

2.2.2 データ処理

取得した加速度データは、Butterworth型のローパスフィルタにより遮断周波数5Hzで平滑化した。次に、垂直方向を検出しながら重力加速度を除去し、3軸の加速度ベクトルを合成して3軸合成加速度を算出した。平滑化、合成後の加速度の典型例を図3に示す。

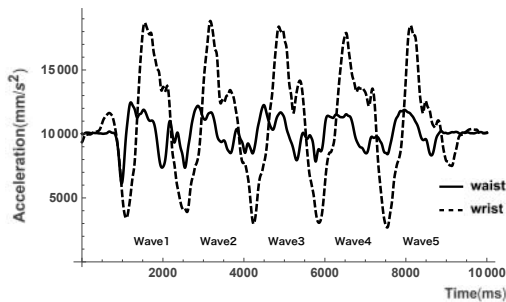


図3：1試技分の加速度の典型例

2.2.3 分析方法：相互相関分析について

腰部と手関節に関する加速度の位相差（タイムラグ）検出には、相互相関分析を用いた。相互相関分析は、異なる波形の類似性を相互相関関数として表す分析方法である。本分析方法と畳み込み積分の原理を応用し、重なり合う面積（相互相関関数）が最も大きくなるまでの時間を位相差と定義する。相互相関分析を用いたタイムラグ算出の概念図を図4に示す。

2.2.4 タイムラグ算出までの手順

- ①データのトレンドを除去するために、静止時を 0m/s^2 に合わせる。
- ②正の加速度最大値を参考に、両部位のスケールを合わせる。
- ③ウェーブ毎に正の部分を核として抽出する。核の抽出例を図5に示す。尚、図5は図3における Wave3 を核として抽出した例である。

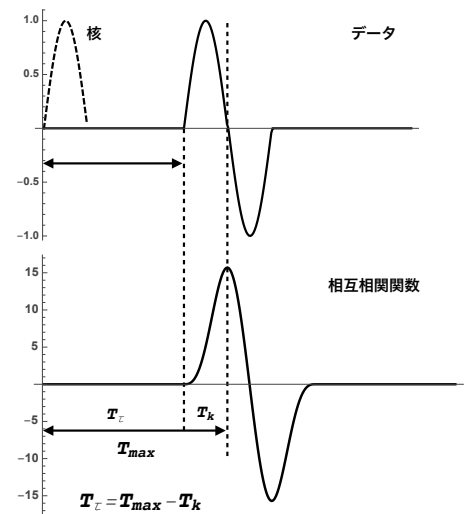


図4：相互相関分析を用いたタイムラグ算出の概念図

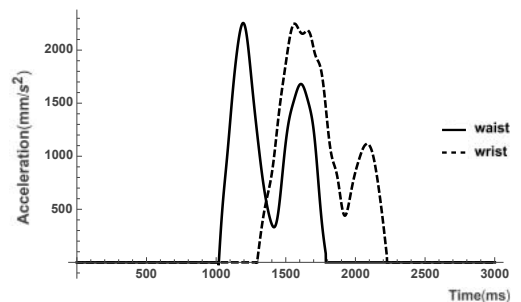


図5：核の抽出例

- ④両部位の核に関する相互相関関数を用いて、以下の計算式から両部位のタイムラグを算出する。

$$T_r = T_{max} - T_k$$

尚、 T_r は求めたいタイムラグ、 T_{max} は相互相関関数の最大値、そして T_k は核の時間を示している。

2.2.5 統計処理

熟練者群2名（1名除外）、未熟練者群4名のタイムラグに関する有意差検定は、Mann-Whitney検定を用いて行った。統計的有意性は、危険率5%未満（ $p < 0.05$ ）で有意差ありと判定した。

他の対象者6名とはリズムの取り方やタイムラグの生成パターンが異なった熟練者1名は統計分析の対象外とした。この対象者の動作特性に関しては、後ほど結果および考察にて詳しく検討することとする。

3. 結果

3.1 実験①

動きの主観的な“美しさ”を問う観察実験においては、5名の観察者全員が迷うことなく、熟練者によるウェーブ動作を選択した。また、その理由について動作の特徴等に関するポイントを述べる者はなく、「何故かは分からないが、なんとなく」などと直感的に選択したことを強調する者がほとんどであった。

3.2 実験②

実験①において主観的な評価に明らかな違いを示した両者の動きの違いを客観的に検討するため、実験②では、腰部と手関節の加速度からその位相差（タイムラグ）を算出した。その結果、図6からも分かる通り、タイムラグは未熟練者群（ $56 \pm 27\text{ms}$ ）よりも熟練者群（ $227 \pm 86\text{ms}$ ）の方が有意に大きいことが示された。

また、動作の特徴として、統計対象である6名のいずれにおいても腰部の加速度が先行し、正の加速度局面でタイムラグを生成しており、負の加速度局面ではタイムラグをほぼ0に（以後、リセット）していた。しかしながら、統計対象から除外した熟練者群の1名のみ、他の6

名とは真逆の結果を示した。つまり、加速度は腰部ではなく手関節が先行し、加えて負の加速度局面でタイムラグが生成される形をとった。従って、他の対象者がタイムラグを生成していた正の加速度局面でタイムラグをリセットしていた。

4. 考察

4.1 “美しい動き”への主観的評価

熟練者と未熟練者の動きでは、どちらに“美しさ”を感じるかを観察者が主観的に評価する実験①において、観察者5名全員が迷うことなく熟練者の動きを「美しい」と評価した。本実験では提示アニメーションにポイントライトを採用しており、観察者は体型や性別等の動き以外の情報が全て排除された映像から“美しさ”を見出した。この結果は、熟練者の動きには美しさを定量化できる何らかの原因があることを示唆している。

さらに、本実験では観察者に未熟練者を採用した。これまでに動作の経験や熟練度と観察能力の対応関係について検討したいくつかの先行研究（Calvo-Merino et al., 2005, 2006；大島と山田、2010、2012）は、その動作の熟練者は同様の動作の違いを認知し易く、細かな違いを即座に感じ取る、という結果を報告している。それにも関わらず、未熟練者が両者の動きの違いを即座に感じ取ったことは、上述した示唆をより強く支持する結果であるといえる。

4.2 タイムラグ生成による美しさの表現

ダンス熟練者と未熟練者の動きを客観的に検討することを目的とした実験②では、腰部と手関節の加速度のタイムラグが未熟練者よりも熟練者の方が有意に大きいことが示された。つまり、熟練者は両部位の加速度のタイムラグをより大きくすることにより“美しさ”を表現していたことが明らかになった。

4.3 タイムラグの生成パターン

前節において、ダンス熟練者は腰部と手関節の加速度のタイムラグをより大きくすることにより美しさを表現していたことを確認した。そ

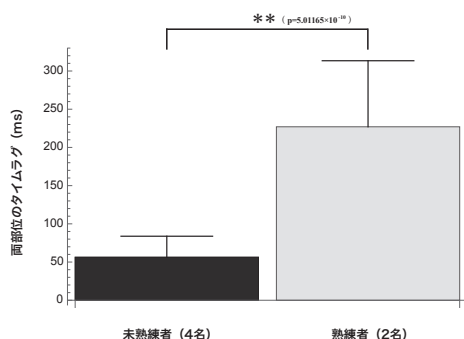


図6：両群のタイムラグ比較

こで本節では、統計対象から除外した1名も含め、全対象者7名のタイムラグ生成パターンを両部位の加速度データから分かる以下の二点に着目して考察する。

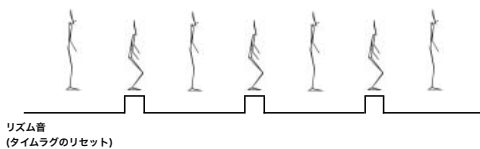
4.3.1 タイムラグのリセット局面から見るリズムの取り方

ダンス種目におけるリズムの取り方は、大きく分けて二種類ある。一つは、リズム音に合わせて膝関節を屈曲させるダウン運動（図7上）、そしてもう一つがリズム音に合わせて膝関節を伸展させるアップ運動（図7下）である。一般的に、難易度はダウン運動よりもアップ運動の方が高いとされ、実際に、リズム音の間隔を徐々に短くしていくことによる両運動の位相の変化を検討した先行研究（Miura et al., 2011）は、アップ運動がダウン運動に変化してしまう相転移（引き込み現象）を観察したと報告している。

さて、本項では本研究で対象としたウェーブ動作におけるリズムの取り方を、上述した二種類のリズム運動に当てはめて考える。本ウェーブ動作はリズム音に合わせて行ったものではないものの、単なる上下運動ではなく腕部の操作も含んだ複合的な運動といえ、さらに腰部と手関節の加速度にはタイムラグが生じる。したがって、ここでは周期的なウェーブ動作の中でこのタイムラグがリセットされる、つまり両部位の加速度の位相が揃う局面を、試技者がリズムをとっている基本局面とする。

結果（3.2参照）に動作の特徴として述べた通

(A) ダウンのリズム運動



(B) アップのリズム運動

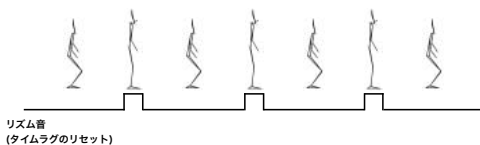


図7：ダウン運動（A）とアップ運動（B）の概念図（Miura et al., 2011を改変）

り、統計対象である6名全員が負の加速度局面でタイムラグのリセットを行っていた。このことは、重心位置が上昇している状態を示し、同時にアップ運動でリズムをとっていることを意味する。しかしその一方で、統計対象外となった熟練者1名のみ、正の加速度局面でタイムラグのリセットを行っていた。このことは、重心が下降している状態を示し、同時にダウン運動でリズムをとっていることを意味している。

前述したように、動作に対する教示は「1回の膝屈伸運動につき1回のウェーブ」のみであり、美しさを表現することを強調していた。それにも関わらず基本的なリズムの取り方に異なるパターンが確認されたことは、表現技法という点で大変興味深い。また、未熟練者ではなく熟練者が唯一他の対象者とは異なるダウン運動を選択した理由として、運動の速度を上げた時に引き込み現象が起こることを経験的に知っており、その臨界速度より遅くても敢えてそれを回避するための方略としてダウン運動を選んだ可能性も十分に考えられる。

4.3.2 先行部位と追従部位

腰部と手関節の加速度にタイムラグを生成するためには、どちらかの部位を先行させてもう一方の部位を追従させる必要がある。一見、質量の大きな部位を先に動かしてから、質量の小さな部位を追従させた方が運動は制御し易いのである。実際に、統計対象者6名は質量の大きな腰部を先に動かしていた。しかしその一方で、前項で唯一ダウン運動をしていたと説明した熟練者1名のみ、手関節を先行させていた。つまりこの熟練者は、ダウン運動でリズムをとりながら腕部で身体重心を引き上げるような動作により美しさを表現していた。

よって、タイムラグを生成するための身体の動かし方には二つのパターンがあり、それにはリズムの取り方と先行部位の選択、という二つの指標のうちどちらを優先させるかによって大きく異なる可能性がある。

4.4 “美しさ”と“力強さ”の繋がり

スポーツにおいて、本研究のウェーブ動作と同様に、体幹部と末端部の加速度に位相差を生

成する動きは他にも多く見られる。その代表例とも言えるのが投動作におけるムチ運動である。ムチ運動は、その名の通り腕部を鞭のようにしならせることによって体幹部付近で生成された力を末端部に伝達し、結果的に末端速度を増大させる運動スキルである。また、このスキルの根本には二重振り子の運動原理があり、二重振り子は第二関節（投動作であれば肘関節）に筋力が働かない方がより大きな運動を生むことが知られている（山田、2011）。つまり、二重振り子の原理を用いた適切なムチ運動は、力学的な効率という点で最も優れた運動であるといえる。外国人選手に比べて体格の劣る日本人選手、中でもイチロー選手による矢のような送球、通称“レーザービーム”が実現するのは、このスキルをうまく利用しているためであると考えられる。

そして、ここで大変興味深いのが、力学法則に則って効率よく生成されたこれらの動きに対して、観察者が「美しい」と評価する例がしばしば見られることである。その代表例として、イチロー選手の送球を初めて目の当たりにしたマリナーズの専属アナウンサー、Rick Rizzsは実況にて“Beautiful”と表現している（図8はイチロー選手による送球映像の一コマをスキャンしたもの）。つまり、より大きな力を生成するために必要な“力強い”動きが、観察者の目には美しく映る可能性がある。



図8：イチロー選手の投球フォーム

このことから、観察者が美しいと感じる動きとより大きな力を生成する力強い動きは、力学的効率という点で繋がっている可能性があり、力学法則に従った無理のない身体運動が「美しく且つ力強い動き」を実現すると推察される。

5. 結論

本研究は、ダンスにおける“美しさ”を定量化して美しい動きの本質にアプローチするため、重心の上下運動を伴うウェーブ動作を対象に、主観と客観という二つの観点から観察実験と表現実験を行った。そして、体幹部と末端部の加速度の位相差（タイムラグ）に着目して、以下の結論を導いた。

観察者が「美しい」と感じるダンス熟練者の動きは、体幹部と末端部の加速度の位相差に由来し、未熟練者に比べてより大きなタイムラグを生成している。そして、美しい動きの本質は、力学法則に従った無理のない動きであり、力学的な効率という点で“美しさ”と“力強さ”は繋がりが合う可能性がある。

謝辞/付記

本研究は、2017年度本学卒業生の松井歩柚美さん（山田憲政ゼミ所属）による卒業研究を発展させたものである。

尚、本研究は中京大学特定研究助成、及び中京大学体育研究所の共同研究費を得て行われ、今後、一般ジャーナルに投稿するための中間研究報告に位置づける。

参考文献

- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grezes, J., Passingham, R. E., and Haggard, P. (2005). Action observation and acquired motor skills: An fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex*, 15: 1243-1249.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grezes, J., Passingham, R. E., and Haggard, P. (2006). Seeing or doing? Influence of visual and motor familiarity in action observation. *Current*

- Biology, 16: 1905-1910.
- Miura, A., Kudo, K., Ohtsuki, T., and Kanehisa, H. (2011). Coordination modes in sensorimotor synchronization of whole-body movement: A study of street dancers and non-dancers. *Human Movement Science*, 30(6): 1260-1271.
- 名取進吾・山田憲政 (2012). 仮想目標の操作に対する実運動の適応可能性—居合道を題材として—. 北海道大学大学院, 修士論文.
- 大島浩幸・山田憲政 (2010). 運動技術レベルと運動観察能力の関連. *スポーツ心理学研究*, 37 (2) : 65-74.
- 大島浩幸・山田憲政 (2012). 他者運動認知能力に関する自己運動制御からの検討. *スポーツ心理学研究*, 39 (2) : 129-136.
- 佐藤菜穂子・居村茂幸・布目寛幸・池上康男 (2011). ダンスパフォーマンスにおける熟練者の動作特性. *名古屋大学総合保健体育科学*, 34 (1) : 35-39.
- 山田憲政 (2011). トップアスリートの動きは何か違うのか—スポーツ科学でわかる一流選手の秘密—. 化学同人.